



TITLE:

Robust adaptive beamforming for clutter rejection on atmospheric radars(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Hashimoto, Taishi

CITATION:

Hashimoto, Taishi. Robust adaptive beamforming for clutter rejection on atmospheric radars. 京都大学, 2016, 博士(情報学)

ISSUE DATE:

2016-09-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20034>

RIGHT:

(続紙 1)

京都大学	博士（情報学）	氏名	橋本 大志
論文題目	Robust adaptive beamforming for clutter rejection on atmospheric radars （大気レーダーのための適応的クラッター抑圧手法）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>気象の数値予報における重要な初期値の一つである上空の風速は、大気レーダーやウィンドプロファイラーなどのドップラーレーダーを用いた大気のリモートセンシングによって得られる。近年これらのドップラーレーダーでは複数のアンテナ群の位相を個別に電子制御することで素早いビーム走査を可能とするフェーズドアレイアンテナが多く採用されている。また各アンテナの受信信号を独立したチャンネルとして保持し、位相及び振幅を調整して合成することによって妨害波（クラッター）を抑圧する適応的信号処理法の研究も行われている。本論文は、大気レーダーにおける風速推定精度の向上を目的とし、適応的信号処理によるクラッター抑圧法及び最適なアレイ設計の方法について論じている。</p> <p>第1章では、本論文の基礎となる大気レーダーの風速推定法とクラッター抑圧の従来手法を概観している。はじめにドップラーレーダーによるリモートセンシングの概要を述べるとともに、地形性クラッターや流星エコーの性質及び従来のクラッター抑圧法の問題点を示し、適応的信号処理の意義を明らかにしている。次章以降の基礎となる方向拘束付き出力電力最小化（DCMP）法及びその大気レーダー向け改良版であるノルム拘束付きDCMP（NC-DCMP）法の原理について説明している。</p> <p>第2章では、中間圏における風速推定に対してNC-DCMP法を適用し、風速推定精度を改善する手法について論じている。最初に大気レーダー観測の数値シミュレーション手法を解説した後、数値シミュレーションによりNC-DCMP法のクラッター抑圧性能を定量的に評価している。続いて、より現実的なシミュレーションを行い、一定の閾値により流星エコーが含まれるデータを欠測とする従来の方法とNC-DCMP法を併用することで、風速推定精度が大幅に向上することを示している。また、MUレーダーによる実観測データへこの手法を適用することによって、観測可能高度範囲が最大2倍程度拡大することを示している。</p> <p>第3章では、大気レーダーにおいてNC-DCMP法の適用に最適なアレイの設計について論じている。本章ではまずクラッター源の多くが低い仰角に存在することに着目し、低仰角方向に高い利得を持つサイドローブキャンセラを少数付け加えた不均一アレイへの適用を想定したゲイン重み付きNC-DCMP法を提案している。続いて数値シミュレーションを用いて不均一アレイと従来の均等分割アレイを比較し、不均一アレイ構成では均等分割アレイと比べて高いクラッター抑圧度をより小さな信号対雑音比（SNR）のロスで達成できることを示している。また、提案するゲイン重み付きNC-DCMP法は従来法に比べ、主アレイとサブアレイのゲイン比が十分に大きくない場合でも良い特性が得られることを示している。最後にMUレーダーによる実観測データで検証を行い、数値計算と整合するクラッター抑圧効果及びSNRロス抑制効果を得られることを確認している。</p> <p>前章まで用いてきたNC-DCMP法ではSNRロスを抑制するためのノルム拘束値を事前に決定する必要があり、クラッターなどの電波環境に応じて適応的に変化させることは</p>			

できない。第4章ではこの欠点を解消するため、SNRロスに加え信号対妨害波比（SIR）の劣化を同時に評価し、これらが等しくなるよう擬似雑音を自動的に調整する手法を提案している。提案法ではまずNC-DCMP法と同様にウェイトベクトルのノルムを用いてSNRロスを推定する一方、ノルム拘束を課さないDCMPとの出力電力の差がクラッターの抑圧度に対応することを利用してSIRロスを同時に推定する。次に推定されたSNR及びSIRロスが等しくなる擬似雑音印加量を探索することによって信号の検出能が最大化される最適ウェイトを得ている。数値シミュレーションによる検討では、DCMP法でSNRロスが大きくなることが知られる信号電力が高い状況や、NC-DCMP法ではクラッターの消え残りが発生するクラッター電力が高い状況においても、提案法がSNRロスとSIRロスのバランスを保つことによって安定に最適解を得ることを示している。また南極大型大気レーダーによる実観測データを用いた検討では、提案法がDCMP・NC-DCMPと比較してより小さなSNRロスで高いクラッター抑圧効果をもたらすことを示している。

最後に第5章では、本論文で得られた成果をまとめ、今後の課題を示している。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し

審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は大気レーダーのための適応的クラッター抑圧手法を提案し、さらにその適用に最適なアンテナアレイ配置を検討している。得られた主な成果は以下の通りである。

(1) 中間圏風速推定における流星エコー抑圧にノルム拘束及び方向拘束付き出力電力最小化 (NC-DCMP) 法を適用し、風速推定精度が改善されることを示した。中間圏観測の数値計算及び実観測データへの適用により、流星クラッターを抑圧することで信頼度の高い風速推定が可能な高度領域が2倍に拡大することを示した。これにより、これまで観測高度範囲が限られることが大きな制約であった大気レーダーによる中間圏領域観測技術の有用性を大きく改善した。

(2) 妨害波の到来方向が専ら低仰角であることに着目し、低仰角方向に高い利得を持ったサイドローブキャンセラを付け加える不均一アレイの有用性を定量的に評価した。また上述のNC-DCMP法を不均一アレイ構成に拡張したゲイン重み付きNC-DCMP法を提案した。実観測データへの適用により、均等分割アレイを用いる従来法に対し1dBより小さな雑音電力上昇で同程度のクラッター抑圧効果が得られることを示した。これにより、大気レーダーにおいて最も重要な指標である感度を犠牲にすることなく不要波を抑圧する有効な手法を確立した。

(3) 上述のNC-DCMP法においてノルム拘束値が固定値であるという問題点を解消するため、DCMPとの出力電力の差が妨害波電力の上昇に対応することを利用して信号対雑音比 (SNR) 及び信号対妨害波比 (SIR) のロスをそれぞれ推定し、SNRロス及びSIRロスが等しくなる最適解を探索することで信号の検出能を最大化する手法を提案した。不均一アレイ構成と組み合わせた実観測への適用により、クラッター強度が高い場合にもノルム拘束値を自動的に緩和し、1dBのSNRロスを許容することでクラッター抑圧性能が20dB以上改善することを示した。

以上要するに本論文は、大気レーダーのための適応的クラッター抑圧手法を提案するとともにその有用性並びに優れた特性を明らかにしたものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士 (情報学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成28年8月29日に実施した論文内容とそれに関連した口頭試問の結果合格と認めた。

注) 論文審査の結果の要旨の結句には、学位論文の審査についての認定を明記すること。
更に、試問の結果の要旨 (例えば「平成 年 月 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。」) を付け加えること。

Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。
要旨公開可能日： 年 月 日以降